

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 08203807
PUBLICATION DATE : 09-08-96

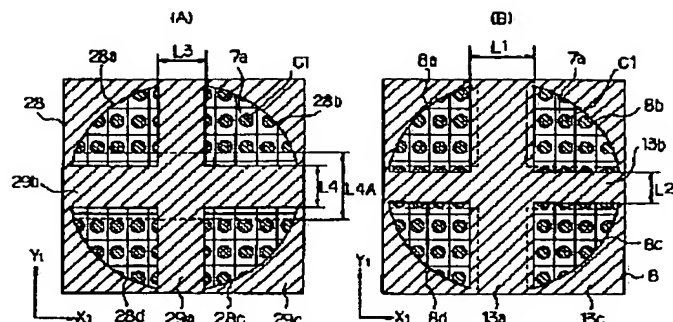
APPLICATION DATE : 26-01-95
APPLICATION NUMBER : 07010635

APPLICANT : NIKON CORP;

INVENTOR : MATSUMOTO YUKAKO;

INT.CL. : H01L 21/027 G03F 7/20

TITLE : PROJECTION EXPOSURE SYSTEM



ABSTRACT : PURPOSE: To decrease a difference in the depth of focus with respect to a transverse pattern arranged in the direction of a long side and a longitudinal pattern arranged in the direction of a short side on a reticle in a projection exposure system in which a pattern on the reticle is projected onto a wafer via a projection optical system.

CONSTITUTION: A modified light source filter 8, which has shielding parts 13b and 13a meeting each other at right angles and extending in an X_1 direction and a Y_1 direction, respectively, corresponding to the array directions of a longitudinal directional pattern and a transverse directional pattern of a reticle, and which has made a width L_1 of the shielding part 13a different from a width L_2 of the shielding part 13b, is disposed in the vicinity of an issuing surface of a fly-eye lens comprising a phase element 7a, in which a plurality of cross-sectional shapes forming respective light source images are rectangular.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-203807

(43)公開日 平成8年(1996)8月9日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 21/027

G 0 3 F 7/20

5 2 1

H 0 1 L 21/ 30

5 1 5 D

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願平7-10635

(22)出願日 平成7年(1995)1月26日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 松本 由佳子

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

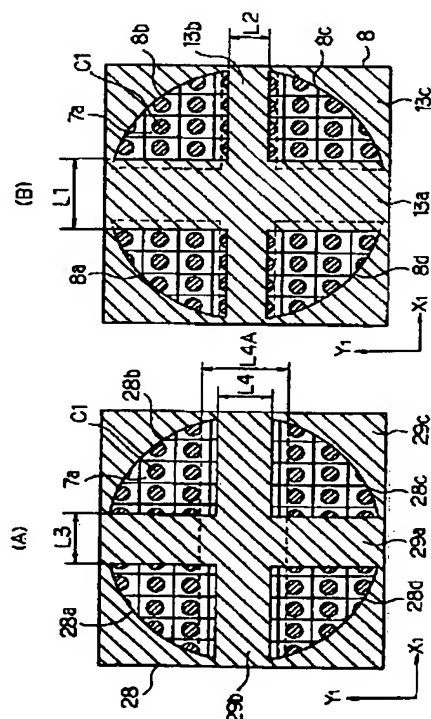
(74)代理人 弁理士 大森 聡

(54)【発明の名称】 投影露光装置

(57)【要約】

【目的】 レチクル上のパターンを投影光学系を介してウエハ上に投影する投影露光装置において、レチクル上の長辺方向に配列された横方向パターンと短辺方向に配列された縦方向パターンとに対する焦点深度の差を少なくする。

【構成】 レチクルの縦方向パターン及び横方向パターンの配列方向にそれぞれ対応する X_1 方向及び Y_1 方向に伸びた直交する遮光部13b及び13aを有し、遮光部13aの幅 L_1 と遮光部13bの幅 L_2 とを異ならしめた変形光源フィルター8を、それぞれ光源像を形成する複数の断面形状が長方形のレンズエレメント7aよりなるフライアイレンズの射出面の近傍に配置する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 露光用の照明光を発生する光源と、前記照明光を入射して第1方向に所定ピッチで配列され前記第1方向に直交する第2方向に前記所定ピッチより大きいピッチで配列された複数の光源像を形成するオプティカル・インテグレータと、該オプティカル・インテグレータにより形成される複数の光源像からの照明光を重畳して転写用のパターンが形成されたマスクに照射する照明光学系と、該照明光学系による照明光のもとで前記マスクのパターンの像を感光性の基板上に投影する投影光学系とを有する投影露光装置において、

前記オプティカル・インテグレータによる複数の光源像の形成面、又は実質的にその形成面の近傍の面に前記照明光学系の光軸を通り前記第1方向に平行な第1の軸に関してほぼ線対称な所定幅の第1の遮光部と、前記光軸を通り前記第2方向に平行な第2の軸に関してほぼ線対称な所定幅の第2の遮光部とを有する遮光部材を配置し、

前記第1の遮光部及び前記第2の遮光部の幅を前記第1の方向及び第2の方向に異なるピッチで配列された前記オプティカル・インテグレータによる複数の光源像の配置に対応して最適化して、前記第1及び第2の遮光部の幅を異ならしめたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】 請求項1記載の投影露光装置であって、前記第1の遮光部の幅を前記第2の遮光部の幅より狭くしたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項3】 請求項1又は2記載の投影露光装置であって、前記オプティカル・インテグレータは、それぞれ前記第1方向の幅が前記第2方向の幅より狭い矩形の断面形状を有する複数の光学エレメントを束ねたフライアイ型インテグレータよりなり、前記遮光部材を、前記フライアイ型インテグレータの入射面の近傍、前記フライアイ型インテグレータの射出面の近傍、又は該射出面の共役面の近傍に配置することを特徴とする投影露光装置。

【請求項4】 請求項1、2又は3記載の投影露光装置であって、前記光源と前記オプティカル・インテグレータとの間に前記光源の複数の像を形成する第2のオプティカル・インテグレータを配置することを特徴とする投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、半導体集積回路や液晶表示素子等の微細パターンの形成に使用される投影露光装置に関し、特にマスクパターン上の照度分布を均一化するためのオプティカル・インテグレータを備えた投影露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、半導体集積回路や液晶表示素子等の微細パターンの形成に使用される投影露光装置では、

レチクル（又はフォトマスク等）の微細なパターンを高い解像度でフォトリソが塗布されたウエハ（又はガラスプレート等）上に投影するため、露光光の波長（露光波長）の短波長化、及び投影光学系の開口数NAの増大等が行われている。しかしながら、単に露光波長の短波長化、及び開口数NAの増大を行うと焦点深度が浅くなり過ぎてしまうため、解像度を向上すると共に焦点深度をある程度以上に維持できる手法として、所謂変形光源法が提案されている。

10 【0003】 これは、例えば特開平4-101148号公報に開示されているように、フライアイ型インテグレータとしてのフライアイレンズ等の射出側焦点面、又はそれと等価なレチクルパターンに対する光学的なフーリエ変換面、若しくはそれらの近傍面に、照明光学系の光軸近傍の露光用の照明光を遮光し、且つ光透過部を特定の部分領域のみに制限するような絞り（以下、「変形光源フィルター」という）を配置するものである。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 上記の如き従来の変形光源法においては、変形光源フィルタの光透過部の照明光学系の光軸からの距離や方向性については検討されているが、フライアイレンズが形成する離散的な光源像（2次光源）を考慮した変形光源フィルタの最適形状についてはほとんど検討されていない。

【0005】 フライアイレンズはレチクルのパターン面上での照度均一化のために用いられるものであり、例えば数十個の同一形状の単一レンズエレメントを照明光学系の光軸と垂直な面内に並べたレンズ群である。更に、各レンズエレメントの入射側の面はレチクルのパターン面と共役（結像関係）となっており、レチクルのパターン面には各レンズエレメントからの照明光束が重畳して入射し、その平均化により良好な照度均一性が得られるようになっている。

【0006】 ところで、レチクル上のパターンエリアは、露光すべき半導体集積回路等の形状に合わせて長方形である方が都合が良いため、これと共役であるフライアイレンズの各レンズエレメントの入射側の面の形状（即ち、断面形状）も長方形とされる。この結果、各レンズエレメントの射出側の面の形状も長方形となり、従ってフライアイレンズの配列ピッチは長方形（レンズエレメント）の断面の短辺方向と長辺方向とでは必然的に異なってしまう。このため、フライアイレンズの射出面（一般的に、レチクルのパターン面に対して光学的にフーリエ変換の関係になっている）に形成される離散的な2次光源も、フライアイレンズの各レンズエレメントの長辺方向と短辺方向とでピッチが異なることになる。

【0007】 従って、このような離散的な2次光源に対して従来の各レンズエレメントの長辺方向と短辺方向とで同じ幅の遮光部を有する対称形の変形光源フィルターを使用した場合、フライアイレンズのレンズエレメント

3

の形状、即ち、2次光源の配列の形状によっては、レチクル上のパターン領域で互いにほぼ直交する短辺方向（横方向）及び長辺方向（縦方向）に各々周期的に配列された2組の周期性パターン（以下、それぞれ「縦方向パターン」及び「横方向パターン」という）でその焦点深度が大きく異なってしまうという不都合があった。

【0008】本発明は斯かる点に鑑み、縦方向パターン及び横方向パターンの各々の焦点深度をほぼ等しくできる変形光源フィルターを備えた高解像度、且つ大焦点深度の投影露光装置を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明による投影露光装置は、例えば図1～図3に示すように、露光用の照明光（3）を発生する光源（1）と、その照明光（3）を入射して第1方向（ X_1 方向）に所定ピッチP1で配列されその第1方向に直交する第2方向（ Y_1 方向）にその所定ピッチP1より大きいピッチP2で配列された複数の光源像を形成するオプティカル・インテグレータ（7）と、このオプティカル・インテグレータにより形成される複数の光源像からの照明光（3）を重畳して転写用のパターン（14）が形成されたマスク（R）に照射する照明光学系（11、12）と、この照明光学系による照明光のもとで前記マスク（R）のパターン（14）の像を感光性の基板（16）上に投影する投影光学系（15）とを有する投影露光装置において、そのオプティカル・インテグレータ（7）による複数の光源像の形成面、又は実質的にその形成面の近傍の面にその照明光学系の光軸（AX1）を通りその第1方向に平行な第1の軸（ X_r ）に関してほぼ線対称な所定幅L2の第1の遮光部（13b）と、その光軸（AX1）を通りその第2方向に平行な第2の軸（ Y_r ）に関してほぼ線対称な所定幅L1の第2の遮光部（13a）とを有する遮光部材（8）を配置し、その第1及び第2の遮光部（13b、13a）の幅L2、L1をその第1方向及び第2方向に異なるピッチで配列されたそのオプティカル・インテグレータによる複数の光源像の配列に対応して最適化して、それらの幅L2、L1を異ならしめたものである。

【0010】この場合、通常はその第1の遮光部（13b）又はその第2の遮光部（13a）の少なくとも一方のエッジがそれら複数の光源像の内の所定の光源像の上にかかる状態として、且つ、その第1の遮光部（13b）の幅L2をその第2の遮光部（13a）の幅L1より狭くすることが望ましい。但し、複数の光源像の第1及び第2方向の配列ピッチの比、及び光源像の面積の割合等によっては、その第1の遮光部（13b）の幅L2をその第2の遮光部（13a）の幅L1より広くすることもある。

【0011】また、そのオプティカル・インテグレータ（7）は、それぞれその第1方向の幅P1がその第2方

4

向の幅P2より狭い矩形の断面形状を有する複数の光学エレメント（7a）を束ねたフライアイ型インテグレータよりなり、その遮光部材（8）を、そのフライアイ型インテグレータ（7）の入射面の近傍、そのフライアイ型インテグレータ（7）の射出面の近傍、又はその射出面の共役面の近傍に配置することが好ましい。

【0012】また、図6に示すように、特にエキシマレーザ等のレーザ光源を使用する場合には、その光源（21）とそのオプティカル・インテグレータ（7s）との間にその光源（21）の複数の像を形成する第2のオプティカル・インテグレータ（7f）を配置してもよい。なお、光源として水銀ランプ等を用いるときもこのような構成を採用してもよい。

【0013】

【作用】斯かる本発明の投影露光装置によれば、オプティカル・インテグレータ（7）がフライアイ型インテグレータである場合にその射出面に形成される2次光源の分布まで考慮した遮光部材（8）を配置しているので、例えば図2において、第2方向（ Y_1 方向）に対応するマスク（R）上のY方向に配列された横方向のパターン（14H）と第1方向（ X_1 方向）に対応するマスク（R）上のX方向に配列された縦方向のパターン（14V）とに対する焦点深度の差が解消される。従来は、遮光部材としてマスク（R）上に描画された横方向及び縦方向のパターン（14H、14V）に対応して、例えば単純に第1方向、第2方向で対称な形状をしたものが使用されていた。そのため、マスク（R）上の横方向のパターン（14H）と縦方向のパターン（14V）とに対する焦点深度に差がみられた。しかしながら、本発明では、オプティカル・インテグレータ（7）の例えば射出面の遮光部材（8）として、第1方向に伸びる第1の遮光部（13b）と第2方向に伸びる第2の遮光部（13a）とを有し、その第1の遮光部（13b）の幅L2とその第2の遮光部（13a）の幅L1とを異ならしめた形状のものをを用いているために、この遮光部材（8）の透過部は従来のものに比較して、第1方向、第2方向の対称性が崩れ、その透過部を透過するオプティカル・インテグレータ（7）の複数の光源像から発散する照明光の第1方向及び第2方向での光束の分布が均一化され、第1方向及び第2方向からの結像への寄与が同等となる。従って、オプティカル・インテグレータ（7）の配列ピッチが短辺方向と長辺方向とで異なることに起因するマスク（R）の横方向のパターン（14H）と縦方向のパターン（14V）との焦点深度の差を低減することができる。

【0014】また、オプティカル・インテグレータが、それぞれ第1方向の幅P1が第2方向の幅P2より狭い矩形の断面形状を有する複数の光学エレメント（7a）を束ねたフライアイ型インテグレータ（7）よりなり、遮光部材（8）を、フライアイ型インテグレータ（7）

5

の入射面の近傍、フライアイ型インテグレート(7)の射出面の近傍、又はその射出面の共役面の近傍に配置する場合には、遮光部材(8)により、第1方向及び第2方向からの結像への寄与が同等となる。

【0015】また、特に光源(21)がエキシマレーザ等のレーザ光源のときには、光源(21)とオプティカル・インテグレート(7s)との間に光源(21)の複数の像を形成する第2のオプティカル・インテグレート(7f)を配置する場合には、オプティカル・インテグレートが1組のシステムに比べ、最終的に光源像の数が

【0016】

【実施例】以下、本発明による投影露光装置の一実施例につき図1～図5を参照して説明する。本実施例は、レチクル上のパターンを投影光学系により縮小してウエハ上の各ショット領域に露光するステップ・アンド・リピート方式の投影露光装置(ステッパー)に本発明を適用したものである。

【0017】図1は、本実施例の投影露光装置の概略構成を示し、この図1において、水銀ランプよりなる光源1より放射される照明光3(波長365nmのi線や波長436nmのg線等)は楕円鏡2で反射、焦点され、第1インพุットレンズ4を透過して、折り曲げミラー5に入射する。折り曲げミラー5によりほぼ直角に折り曲げられた照明光3は、第2インพุットレンズ6に入射し、第1及び第2インพุットレンズ4、6によりほぼ平行光束となってフライアイレンズ7に入射する。フライアイレンズ7を構成する各レンズエレメント7a(図2参照)の射出側の面(射出面)にはそれぞれ光源1の像(2次光源)が形成される。

【0018】フライアイレンズ7の射出面近傍に、照明光学系の光軸AX1の近傍の照明光3を遮光する変形光源フィルター8が設けられている。更に、変形光源フィルター8は他の形状のフィルターである輪帯絞り、及び通常形状(円形又は矩形状)の開口絞り(図1では、開口部9aを有する開口絞り9だけを示す)と共に保持部材(例えばターレット板、スライダ等)10に一体に固定されており、駆動系10aによって交換自在に照明光路中に配置されている。変形光源フィルター8の光透過部8a、8bを透過した照明光3は、コンデンサーレンズ群11を介して折り曲げミラー12に入射し、折り曲げミラー12によりほぼ直角に折り曲げられて、レチクルR上のレチクルパターン14を照明する。ここで、フライアイレンズ7を構成する複数のレンズエレメント7a(図2参照)の各入射側の面(入射面)はレチクルRのパターン面とはほぼ共役(結像関係)となっている。また、フライアイレンズ7の射出面はレチクルRのパターン面に対してほぼ光学的にフーリエ変換の関係となっている。なお、フライアイレンズ7、変形光源フィルター8、及びレチクルパターン14については後述する。

6

【0019】変形光源フィルター8から射出された後、コンデンサーレンズ群11及び折り曲げミラー12よりなる照明光学系から射出された露光用の照明光3が、レチクルR上の照明領域に照射され、その照明領域内に描画されたレチクルパターン14が、投影光学系15を介して縮小されてウエハ16の各ショット領域に転写される。照明光3としては、水銀ランプ等の輝線の他、KrFエキシマレーザ光又はArFエキシマレーザ光等のレーザ光も用いられる。ここで、図1において、投影光学系15の光軸AX2に平行にZ軸を取り、その光軸AX2に垂直な平面内で図1の紙面に平行にX軸、図1の紙面に垂直にY軸を取る。

【0020】レチクルパターン14が描画されたレチクルRは、不図示のレチクルステージ上に真空吸着され、このレチクルステージは、投影光学系15の光軸AX2に垂直な2次元平面(XY平面)内で、X方向、Y方向及び回転方向(θ 方向)にレチクルRを位置決めする。ところで、図1において照明光3のレチクルパターン14への入射角 ϕ は、変形光源フィルター8の形状(光透過部、即ち2次光源の各位置)に応じて決まる。また、装置全体を統括制御する主制御系20により、レチクルの種類やそのパターンの微細度(線幅、ピッチ)、及び周期方向に基づいて、レチクルパターン14に最も見合った(最適な)形状を有する変形光源フィルター8が駆動系10aを介して照明光路中に配置されている。

【0021】一方、ウエハ16はウエハステージ17上に真空吸着により保持されている。ウエハステージ17は駆動系18によりX方向及びY方向にウエハ16を位置決めし、また光軸AX2に平行なZ方向及びXY平面上の回転方向にもウエハ16を微動することができる。ウエハステージ17の駆動系18による動作は制御系20により制御される。更に、ウエハステージ17上に固定された移動鏡、及び不図示の外部のレーザ干渉計によりウエハステージ17のX座標及びY座標が常時測定されている。

【0022】次に、レチクルパターン14、フライアイレンズ7、及び変形光源フィルター8の形状等について説明する。なお、以下ではレチクルRとフライアイレンズ7及び変形光源フィルター8との対応関係を説明するため、レチクルRのパターン面上でのX方向及びY方向に対応するフライアイレンズ7の射出面での方向をそれぞれX_i方向、及びY_i方向とする。

【0023】図2(A)は本例のレチクルRの平面図を示し、この図2(A)において、レチクルRのほぼ中央部の有効エリア(パターン領域)PAは製造される半導体集積回路の形状に合わせてY方向に長い長方形に形成されている。ここでは、レチクルパターン14の縦方向のパターンをY方向に伸び、且つX方向に等間隔に並んだ均一な5本の遮光部からなる縦方向パターン14Vで代表させ、レチクルパターン14の横方向のパターンを

X方向に伸び、且つY方向に等間隔に並んだ均一な5本の遮光部からなる横方向パターン14Hで代表させている。

【0024】図2(B)は本例のフライアイレンズ7の射出面の形状を示し、図2(A)に示すレチクルRの長方形の有効エリアPAに対して均一な照明を行うのに好適な形状を有している。図2(B)に示すように、フライアイレンズ7は、断面形状が同一の長方形の複数のレンズエレメントが横方向(X_1 方向)及び縦方向(Y_1 方向)に接しながら整然と並べられており、全体としてほぼ正方形の断面形状を有している。以下、その一つのレンズエレメント7aだけに符号を付して説明する。他のレンズエレメントについても同様である。

【0025】レンズエレメント7aの断面形状は、図2(A)のレチクルR上の有効エリアPAにほぼ相似な長方形となっている。レンズエレメント7aの射出面の中央部の円形の2次光源C1はレンズエレメント7aにより形成される光源1の像を示している。フライアイレンズ7の入射面での照度分布はほぼ一様であり、更に各レンズエレメント7aを射出した照明光がレチクルR上の有効エリアPAに重畳されてパターン面上での照度分布が均一化される。フライアイレンズ7の入射面とレチクルRのパターン面とは結像関係にあり、フライアイレンズ7は各レンズエレメント7aの断面形状が有効エリアPAの形状と相似となっている場合に、光量的に最も効率よくレチクルRを照明することができる。

【0026】図3は、図1中の変形光源フィルター8の正面図を示し、この図3において、円形の変形光源フィルター8はその中心部を通過して Y_1 方向に伸びる幅がL1の帯状の遮光部13a、その中心部で遮光部13aと直交する幅がL2の帯状の遮光部13b、変形光源フィルター8の外郭を構成する輪帯状の遮光部13c、及びそれらの遮光部13a～13cに囲まれた4つのほぼ扇形の透過部8a～8dから構成されている。この場合、遮光部13bは、照明光学系の光軸AX1を通り X_1 方向に平行な軸 X_r に対して線対称であり、遮光部13aは光軸AX1を通り Y_1 方向に平行な軸 Y_r に対して線対称であり、遮光部13aの幅L1と遮光部13bの幅L2とは異なるように形成されている。フライアイレンズ7からの照明光3は、変形光源フィルター8の4つの透過部8a～8dを透過して次のコンデンサーレンズ群11に入射する。照明光3の内、光軸AX1の近傍を通る光束は、遮光部13aと遮光部13bとにより遮断される。

【0027】次に、本例の投影露光装置の動作につき、特に変形光源フィルター8の動作を中心に説明する。一般的に投影露光装置において、焦点深度及び解像度向上のために用いられる変形光源フィルターの形状は、対象となるレチクル上のパターンのピッチ及び方向から最適化される。図2(A)のように主に縦、横方向

のパターンを中心としたレチクルパターン14に対しては、図4(A)に示すような十字状の遮光部をもつ変形光源フィルター28が有効である(1992年SPIE Optical/Laser Microlithography 1674-63 "New Imaging Technique for 64M DRAM" 参照)。ここで、縦方向パターン14Vには Y_1 軸をはさむ光束、即ち図4(A)の変形光源フィルター28では(透過部28a及び28d)を通過した光束と(透過部28b及び28c)を通過した光束との組が焦点深度及び解像度向上に寄与する。一方、横方向パターン14Hには X_1 軸をはさむ光束、即ち図4(A)では(透過部28a及び28b)を通過した光束と(透過部28c及び28d)を通過した光束との組が焦点深度及び解像度向上に寄与している。また、パターンのピッチに応じて光束と軸との最適な距離が定まる。そのため変形光源フィルターに入射する光束が一様な場合、縦方向パターンと横方向パターンとを同程度にもつ一般的なレチクルに対応する変形光源フィルターの透過部は、図4(A)の変形光源フィルター28に示すように X_1 方向及び Y_1 方向に関して対称な形状となる。即ち、 X_1 方向の遮光部の幅L3と Y_1 方向の遮光部の幅L4とは等しくなる。

【0028】ところで、フライアイレンズの各レンズエレメントの形状は前述の通り長方形であり、射出面に形成される離散的な2次光源は光源1の像として図2

(B)のように分布している。図4(A)は、その射出側出口に従来の対称形の変形光源フィルター28を設置し、変形光源フィルター28のレチクルR側から見た正面図を示している。変形光源フィルター28の透過部28a～28dからはフライアイレンズ7のレンズエレメント7aが観察される。図4(A)において、透過領域内の2次光源の分布に着目すると、 Y_1 方向では遮光部のエッジがフライアイレンズ7上で2次光源の無い、所謂暗い部分にかかっており、遮光部材の幅L4は実際には点線で示される範囲L4Aまでであるとみなせる。それに対して X_1 方向では遮光部エッジにおいても2次光源は存在しており、遮光部の幅L3(=L4)は設計上の値とほぼ同等である。このように離散的な2次光源まで考慮した場合、変形光源フィルターの形状が X_1 、 Y_1 方向で対称な形であっても、実質的に寄与する2次光源は X_1 、 Y_1 方向で非対称となる。

【0029】このように従来型の変形光源フィルター28を使用した場合には、 Y_1 方向の実効的な遮光部幅が設計値と異なるため、 X_1 軸をはさむ(透過部28a及び28b)と(透過部28c及び28d)との透過領域が寄与する図2(A)のレチクルRの横方向パターン14Hの焦点深度及び解像度は期待される値が得られない。従って2次光源分布を考慮せずに設計された変形光源フィルター28のような従来の対称形の変形光源フィルターを用いて露光した場合、レチクルRのパターンの縦方向と横方向で限界解像度及び焦点深度が異なる。

【0030】このような2次光源分布の対称性による縦方向のパターンと横方向のパターンに対する限界解像度及び焦点深度の差を低減するために、まずフライアイレンズの形状を最適化する方法が考えられる。例えばレンズエレメント7aの形状を正方形にする。あるいは透過領域内のレンズエレメントの配置が X_1 、 Y_1 方向で対称になるよう工夫する等により、2次光源分布は X_1 、 Y_1 方向に対して対称になる。しかし、一般に変形光源フィルターは対象となるパターンのピッチや方向によって変更されるものであり、それに応じて最適なフライアイレンズを使い分けた場合は、装置構成が複雑化し、また、フライアイレンズの個数分のコストが必要となる。フライアイレンズは照明系レンズ群の中でも高価なレンズであり、全体の採算性が悪くなる。従って、汎用的なフライアイレンズ1種類で全てに対応することが望ましく、光の効率も考慮した図2(B)で示すような長方形のレンズエレメント7aを有するフライアイレンズを使用することが望ましい。

【0031】また、フライアイレンズのレンズエレメントを十分小さくし、且つ個数を増やす方法も考えられる。この方法によれば、変形光源フィルターへの入射光の均一性が増すため、 X_1 、 Y_1 軸方向の2次光源分布の非対称の度合いが減少し、縦方向のパターンに対する焦点深度と横方向のパターンに対する焦点深度の差が低減することが予想される。しかし、レンズエレメントの数を増やすことはやはりコストアップを招くため、実際にはウエハ16の面上での照度の均一性が必要性能を満たすのに必要十分な程度の個数に設定される。

【0032】従来、変形光源フィルターの形状を決定するにあたっては、変形光源フィルターは一樣な光で照射されるものとして、対象となるパターンのピッチ、方向、必要な光量(変形光源フィルターでは遮光によって光量が低減するため)等を考慮し、光学シミュレーションによって変形光源フィルターの形状の最適化が計られていた。本発明者は、その際フライアイレンズの2次光源の変形光源フィルター上での分布も考慮してシミュレーションを行い、その結果、2次光源の分布が X_1 、 Y_1 方向で非対称であることによって縦、横方向パターンで焦点深度差が生じることを解明した。そこで、本発明者は更に各種のシミュレーションを行い、2次光源の分布に応じて変形光源フィルターの形状(遮光部の幅)を X_1 、 Y_1 方向で非対称にすることにより、縦、横方向パターンの焦点深度差が解消されることを解明したものである。

【0033】図4(B)は本例の変形光源フィルター8を使用した場合の変形光源フィルター8及びフライアイレンズ7をレチクルR側から見た正面図を示し、この図4(B)において、変形光源フィルター8の Y_1 方向に伸びた遮光部13aの幅 L_1 は、点線で示す従来の変形光源フィルター28の Y_1 方向の遮光部29aの幅に比

較して広く形成されている。一方、変形光源フィルター8の X_1 方向に伸びた遮光部13bの幅 L_2 は、やはり点線で示す従来の変形光源フィルター28の X_1 方向の遮光部29bの幅に比較して狭く形成されている。また、この例では遮光部13aの両側のエッジは各2次光源C1の間に位置し、遮光部13bの上下のエッジは所定の2次光源C1の上にかかっている。

【0034】このように十字状パターンの遮光部を X_1 、 Y_1 方向で異なる幅にすることにより、透過領域を通る2次光源のレチクルR上の縦、横方向パターン14V、14Hに対する寄与をほぼ等しくしている。その結果、レチクルR上の縦方向パターン14Vと横方向パターン14Hとのウエハ16上での投影像の焦点深度差が減少する。

【0035】図5(A)は、図4(A)に示す従来の対称な形状の変形光源フィルター28を用いた場合の焦点深度の計算例を示すグラフを表し、図5(B)は、本例の非対称型の変形光源フィルター8を使用した場合の焦点深度の計算例を示すグラフを表している。図5(A)及び図5(B)において、横軸はウエハ16面のベストフォーカス点Z₀からのずれ量 ΔZ を、縦軸はウエハ16上に投影露光されたパターンの線幅Tを示している。パターンの線幅Tはウエハ16の位置がベストフォーカス点Z₀からずれるに従ってパターンの設計寸法Wからシフトする。一般に焦点深度はパターンの線幅変動が許容される線幅誤差 ΔW 内となるベストフォーカスからのずれ量 ΔZ の範囲により表される。図5(A)の範囲40H、40V及び図5(B)の範囲41H、41Vは焦点深度を表すものである。

【0036】図5(A)において、実線で示される曲線30V及び破線で示される曲線31Hは各々、レチクルR上の縦方向パターン14V、横方向パターン14Hの線幅変化曲線を示している。ここで、範囲40Vで示される縦方向パターン14Vに対する焦点深度は、範囲40Hで示される横方向パターン14Hに対する焦点深度より大きく、縦方向パターン14Vと横方向パターン14Hに対する焦点深度に差が生じている。

【0037】一方、2次光源分布を考慮して X_1 、 Y_1 方向に非対称化した図3に示す本例の変形光源フィルター8を用いれば、図5(B)のグラフで示すように、レチクルRの縦、横パターン14V、14Hに対する線幅変化曲線31V、31Hがほとんど一致し、縦パターン14Vに対する焦点深度を表す範囲41Vと横パターン14Hに対する焦点深度を表す範囲41Hとの差が僅かになる。

【0038】以上のように本実施例によれば、これまで縦方向及び横方向パターンに対応して、単純に X_1 、 Y_1 方向で対称な形状をしていた変形光源フィルターの形状を、フライアイレンズの射出面に形成される2次光源の分布まで考慮し、その変形光源フィルターの X_1 、 Y_1

1 方向の対称性を崩して最適化することにより、フライアイレンズの配列ピッチが短辺方向と長辺方向とで異なることに起因するレチクルRの縦方向パターンと横方向パターンとの焦点深度の差を低減することができる。これにより、縦方向パターンと横方向パターンとの各々について良好な、且つ、ほぼ等しい焦点深度を得ることができる。なお、上述実施例において、変形光源フィルター8の複数の開口部の外形は円形であるが、それら複数の開口部の外形を矩形としてもよい。

【0039】次に、本発明による投影露光装置の他の実施例について図6～図9を参照して説明する。本実施例は照度分布の一層の均一化を図るために照明光路中にフライアイレンズを2段用いる所謂ダブルフライアイレンズ方式の照明系を有する投影露光装置に本発明を適用したものである。このダブルフライアイレンズ方式の照明系は、特にエキシマレーザ光源等のレーザ光源を露光光源とする露光装置において実用化されている。なお、図6～図9において、変形光源フィルター38以降は図1の実施例と同様な構成であり、図1と対応する部分には同一符号を付し、その詳細説明を省略する。

【0040】ここで、図6において、不図示の投影光学系の光軸AX2に平行にZ軸を取り、その光軸AX2に垂直な平面内で図6の紙面に平行にX軸、図6の紙面に垂直にY軸を取る。また、レチクルRと第1及び第2のフライアイレンズ7f、7s及び変形光源フィルター38との対応関係を説明するため、図6～図9においてレチクルRのパターン面上でのX方向及びY方向に対応してそれぞれ第2のフライアイレンズ7sの射出面上でX_i軸、及びY_i軸を取る。

【0041】図6は、本例の投影露光装置の要部の概略構成を示し、レーザ光源21からのレーザビームは、先ず前置レンズ群34でビーム形状の成形等がなされて、レーザ光源21側の第1のフライアイレンズ7fに入射する。第1のフライアイレンズ7fで多数の2次光源が形成され、それらの2次光源からの発散ビームは折り曲げミラー35によりほぼ直角に折り曲げられて、リレーレンズ36を経てレチクルR側の第2のフライアイレンズ7sに入射する。この場合、第1のフライアイレンズ7fの射出面は第2のフライアイレンズ7sの各レンズエレメントの射出面とほぼ共役（結像関係）となっている。

【0042】図7は、第2のフライアイレンズ7sの射出面の正面図を示し、図2(A)に示すレチクルRの長方形の有効エリアPAに対して均一な照明を行うのに好適な形状を有している。図7に示すように、第2のフライアイレンズ7sは、断面形状がY_i方向に長い長方形の同一の複数のレンズエレメントが横方向(X_i方向)及び縦方向(Y_i方向)に接しながら整然と並べられており、全体として正方形の断面形状を有している。以下、その一つのレンズエレメント7bだけに符号を付し

て説明する。他のレンズエレメントについても同様である。

【0043】レンズエレメント7bの断面形状は、図2(A)のレチクルRの有効エリアPAにほぼ相似な長方形となっている。レンズエレメント7bの中央部のほぼ正形状に分布する3次光源（光源像）C2は、第1のフライアイレンズ7fにより形成される多数の2次光源をレンズエレメント7bにより縮小してリレーした多数の光源像を示している。なお、以下では開口絞りが配置される面に形成される3次光源（光源像）C2を2次光源と呼ぶ。本例のダブルフライアイレンズのシステムを有する投影露光装置では、フライアイレンズ1組のシステムに比べ、レンズエレメント7bに占める光源像C2の割合が増加するため、レチクルR上での照度分布の均一性は高くなる。

【0044】第2のフライアイレンズ7sの射出面近傍には、照明光学系の光軸AX1の近傍のレーザビームを遮光する変形光源フィルター38が設けられている。変形光源フィルター38は図1の変形光源フィルター8と同様に不図示の保持部材（例えばターレット板、スライド等）に一体的に固定されており、不図示の駆動系によって他の開口絞りと交換されて照明光路中に配置される。

【0045】図8は、変形光源フィルター38の正面図を示し、この図8において、外形がほぼ正方形の変形光源フィルター38はその中心部を通してY_i方向に伸びる幅がL5の帯状の遮光部39a、その中心部で遮光部39aと直交する幅がL6の帯状の遮光部39b、変形光源フィルター38の外周部の遮光部39c、及びそれらの遮光部39a～39cに挟まれたそれぞれ矩形の4つの透過部38a～38dから構成されている。この場合、本例では一例として遮光部39aのX_i方向の幅L5は遮光部39bのY_i方向の幅L6よりも広くなるように形成されている。

【0046】図6に戻り、変形光源フィルター38の光透過部38a～38d（図6では38a、38bのみが図示）を透過したレーザビームは、コンデンサーレンズ群11を経て折り曲げミラー12によりほぼ直角に折り曲げられた後、レチクルR上のレチクルパターン14を照明する。本例でも第2のフライアイレンズ7sを構成する複数のレンズエレメントの各入射面はレチクルRのパターン面とほぼ共役（結像関係）となっている。また、第2のフライアイレンズ7sの射出面はレチクルRのパターン面に対して光学的にフーリエ変換の関係となっている。

【0047】ここで、本例の投影露光装置の動作につき図6～図9を参照して説明する。また、露光対象のパターンは図2(A)のレチクルパターン14であるとする。図9(A)は、図6の第2のフライアイレンズ7sの射出面に従来の対称形の変形光源フィルター48を設

置し、変形光源フィルター48をレチクルR側から見た正面図を示している。変形光源フィルター48の透過部48a~48dを通して第2のフライアイレンズ7sのレンズエレメント7bが観察される。図9(A)において、透過部48a~48d内の2次光源の分布に着目すると、 Y_1 方向では透過部のエッジが第2のフライアイレンズ7s上で光源像の無い、所謂暗い部分にかかっており、図1の実施例同様に、変形光源フィルターの形状が X_1 、 Y_1 方向で対称な形であると、実質的に照明に寄与する光源像の分布は X_1 、 Y_1 方向で非対称となり、レチクルR上でY方向に配列された横方向のパターン14H(図2(A)参照)の焦点深度及び解像度は期待される値が得られない。従って光源像分布を考慮せずに設計された変形光源フィルター48のような従来の対称形の変形光源フィルターを用いて露光した場合、レチクルRの縦方向パターンと横方向パターンとで限界解像度及び焦点深度が異なる。

【0048】それに対して、図9(B)は本例の変形光源フィルター38を図6の第2のフライアイレンズ7sの射出面に設置した場合の変形光源フィルター38をレチクルR側から見た正面図を示し、この図9(B)において、変形光源フィルター38の Y_1 方向に伸びた遮光部39aの幅L5は、点線で示す図9(A)の従来のものに比較して、広く形成されている。一方、変形光源フィルター38の X_1 方向に伸びた遮光部39bの幅L6は、点線で示す図9(A)の従来のものに比較して、狭く形成されている。また、この例では遮光部39bの上下のエッジが所定の2次光源C2の上にかかっている。

【0049】このように、変形光源フィルター38の遮光部の X_1 及び Y_1 方向の幅L5、L6を変えて最適化することによってレチクルR上の縦方向パターンと横方向パターンとの焦点深度の差を低減することができる。更に、焦点深度の浅かった方向のパターンに対する焦点深度が深くなるため、全体として焦点深度が深くなっている。

【0050】なお、上述実施例の変形光源フィルター38の複数の開口部の全体の外形はほぼ正方形であるが、例えば図3の変形光源フィルターのように開口部の全体の外形を円形としてもよい。また、上述実施例では開口絞りの直前のフライアイレンズ(7又は7s)の各レンズエレメントの断面形状は Y_1 方向を長辺方向とする長方形であり、それに対応する変形光源フィルター(8又は38)は X_1 方向に伸びる遮光部の幅が Y_1 方向に伸びる遮光部の幅より狭くなっている。しかしながら、各レンズエレメントの断面形状が Y_1 方向を長辺方向とする場合でも、対応する変形光源フィルターの X_1 方向に伸びる遮光部の幅が Y_1 方向に伸びる遮光部の幅より広くなることもある。以下ではそのような例につき説明する。

【0051】この例は、図6の実施例において、レーザ

光源21としてエキシマレーザ光源(例えば発振波長248nmのKrFエキシマレーザ光源)を使用して、第2のフライアイレンズ7s及び変形光源フィルター38をそれぞれ図10(A)に示すフライアイレンズ7t及び変形光源フィルター51で置き換えたものである。図10(A)において、フライアイレンズ7tはレンズエレメント7cを X_1 方向に13列、 Y_1 方向に12行密着するように配列して構成され、各レンズエレメント7cの断面形状は Y_1 方向を長辺方向とする長方形であり、各レンズエレメント7cの射出面の中央部に矩形状に2次光源C3が分布している。また、この例の4個のほぼ正方形の開口部51a~51dが形成された変形光源フィルター51は線幅が0.25 μ mのパターンを露光する場合に最適化された開口絞りであり、 Y_1 方向に伸びる遮光部52aの X_1 方向の幅L9が、 X_1 方向に伸びる遮光部52bの Y_1 方向の幅L10より広く設定されている。即ち、従来型の対称な変形光源フィルターを一部点線で示すように、 X_1 方向及び Y_1 方向に伸びた遮光部の幅がそれぞれL10の開口絞りであるとする

と、本例の変形光源フィルター51は Y_1 方向に伸びた遮光部52aの幅を広くしたものである。

【0052】これに対して、図10(A)のフライアイレンズ7tを用いて、線幅が0.28 μ mのパターンを露光する場合に最適化した変形光源フィルターは、図10(B)の変形光源フィルター53となる。この4個のほぼ正方形の開口部53a~53dが形成された変形光源フィルター53は、 X_1 方向に伸びる遮光部54bの Y_1 方向の幅L12が、 Y_1 方向に伸びる遮光部54aの X_1 方向への幅L11より広がっている。即ち、従来型の変形光源フィルターを一部を点線で示すように、 X_1 方向及び Y_1 方向に伸びた遮光部の幅がそれぞれL11の開口絞りであるとする、この変形光源フィルター53は X_1 方向に伸びた遮光部54bの幅を広くしたものである。

【0053】以上のように、フライアイレンズの各レンズエレメントの断面形状が Y_1 方向に長い場合でも、その各レンズエレメントの断面積に対する2次光源の割合、最適化前の遮光部のエッジの位置、及び転写対象のパターンの線幅等によって、最適化された変形光源フィルターの X_1 方向に伸びた遮光部の幅と Y_1 方向に伸びた遮光部の幅との大小関係は変化することがある。これは特にダブルフライアイレンズ方式の場合に当てはまることである。

【0054】更に、以上の実施例では、変形光源フィルター8及び38をそれぞれフライアイレンズの射出面の近傍に配置したが、それ以外に例えばその射出面との共役面(レチクルのパターン面の光学的なフーリエ変換面との共役面)近傍に配置してもよい。更に、フライアイレンズの場合には、各レンズエレメントによる光源像の光強度は各レンズエレメントへの入射光束により調整で

きるため、変形光源フィルター8、38をフライアイレンズの入射面の近傍に配置してもよい。また、変形光源フィルター8、38の遮光部を減光部としてもよい。更に、液晶表示素子やエレクトロクロミック素子等からなる可変絞り(可変フィルター)を変形光源フィルターとして使用してもよい。

【0055】また、上述実施例ではオプティカル・インテグレータとしてフライアイレンズが使用されているが、オプティカル・インテグレータとしてロッド型インテグレータを使用する場合にも本発明は適用できる。このように本発明は上述実施例に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。

【0056】

【発明の効果】本発明の投影露光装置によれば、オプティカル・インテグレータによる光源像の分布を考慮して、第1方向に伸びる第1の遮光部と第2方向に伸びる第2の遮光部とを有する遮光部材のその第1の遮光部の幅とその第2の遮光部の幅とを異ならしめているために、マスク上の横方向パターン(第2方向に配列されたパターン)と縦方向のパターン(第1方向に配列されたパターン)とに対する焦点深度の差を低減できる利点がある。従来の対称形の遮光部材ではマスクの横方向パターンと縦方向パターンとで焦点深度に差がみられたが、遮光部材の形状を最適化することによりその差は殆ど解消した。また、従来例では焦点深度の浅かった方向の焦点深度が増大することによって変形光源法の大きな目的である焦点深度増大の効果が十分得られるようになった。

【0057】また、オプティカル・インテグレータが、それぞれ第1方向の幅が第2方向の幅より狭い矩形の断面形状を有する複数の光学エレメントを束ねたフライアイ型インテグレータよりなり、遮光部材を、フライアイ型インテグレータの入射面の近傍、フライアイ型インテグレータの射出面の近傍、又はその射出面の共役面の近傍に配置する場合には、簡単な構成で横方向パターンと縦方向パターンとに対する焦点深度の差を低減できる。

【0058】また、光源とオプティカル・インテグレータとの間に光源の複数の像を形成する第2のオプティカル・インテグレータを配置する場合には、オプティカル・インテグレータが1段のシステムに比べ、マスク上で

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による投影露光装置の一実施例を示す概

略構成図である。

【図2】(A)は図1のレチクルのパターン配置を示す平面図、(B)は図1のフライアイレンズ7の構成を示す平面図である。

【図3】図1の変形光源フィルター8の構成を示す図である。

【図4】(A)は従来の変形光源フィルター28が取り付けられたフライアイレンズをレチクル側から見た図、

(B)は図3の変形光源フィルター8が取り付けられたフライアイレンズをレチクル側から見た図である。

【図5】(A)は従来の変形光源フィルターを用いて露光されたパターンの焦点深度を示す図、(B)は図3の変形光源フィルターを用いて露光されたパターンの焦点深度を示す図である。

【図6】本発明による投影露光装置の他の実施例の要部を示す概略構成図である。

【図7】図6の第2のフライアイレンズ7sの構成を示す図である。

【図8】図6の変形光源フィルター38の構成を示す図である。

【図9】(A)は従来の変形光源フィルター48取り付けられたフライアイレンズをレチクル側から見た図、

(B)は図8の変形光源フィルター38が取り付けられたフライアイレンズをレチクル側から見た図である。

【図10】本発明の別の実施例のフライアイレンズ及び変形光源フィルターを示す説明図である。

【符号の説明】

1 光源

R レチクル

7, 7f, 7s フライアイレンズ

7a, 7b フライアイレンズのレンズエレメント

C1 2次光源(光源像)

C2 第2フライアイレンズによる2次光源(光源像)

8, 38 変形光源フィルター

8a, 8b, 8c, 8d 透過部

13a, 13b, 13c 遮光部

14 レチクルパターン

14H 横方向パターン

14V 縦方向パターン

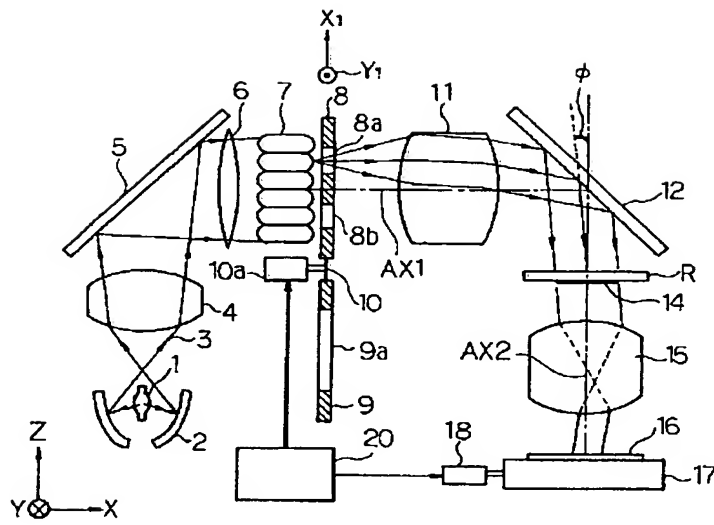
15 投影光学系

16 ウエハ

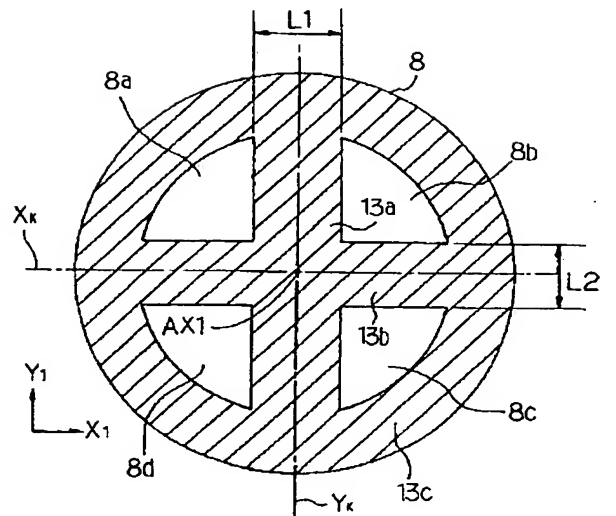
38a, 38b, 38c, 38d 透過部

39a, 39b, 39c 遮光部

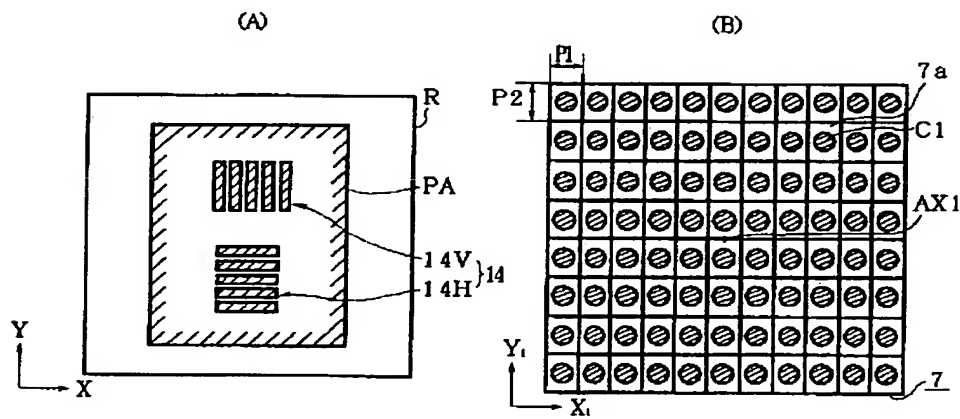
【図1】



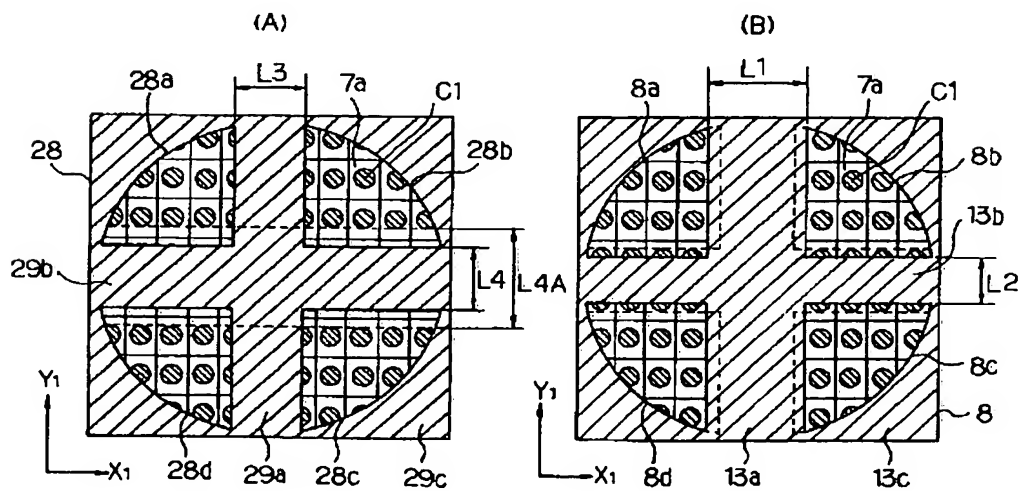
【図3】



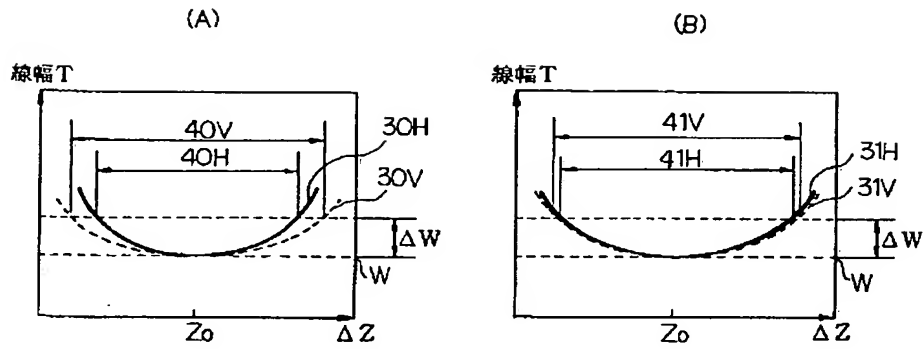
【図2】



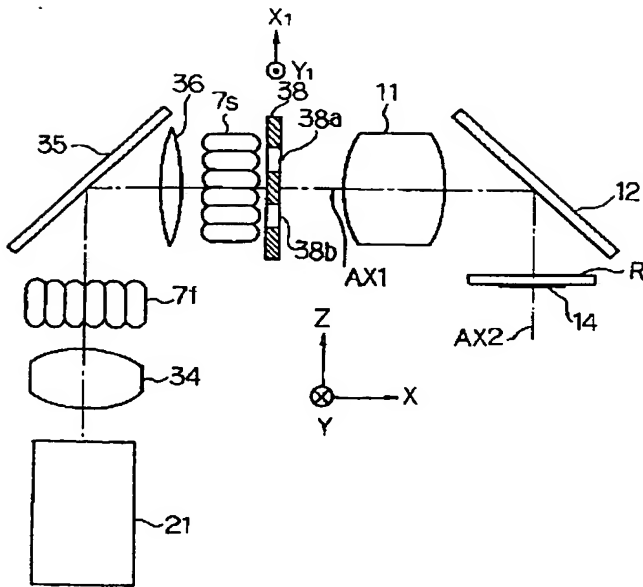
【図4】



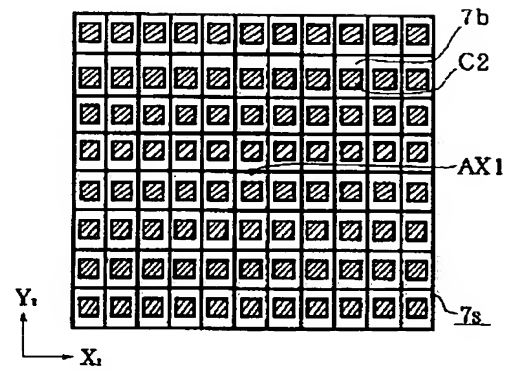
【図5】



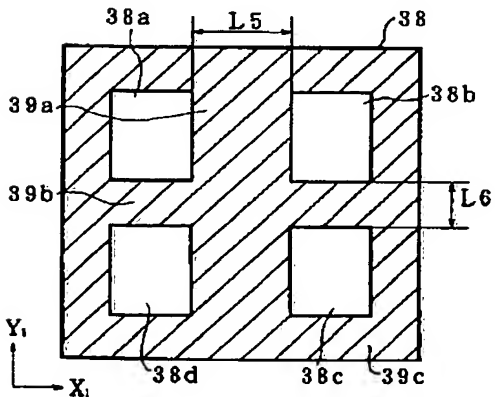
【図6】



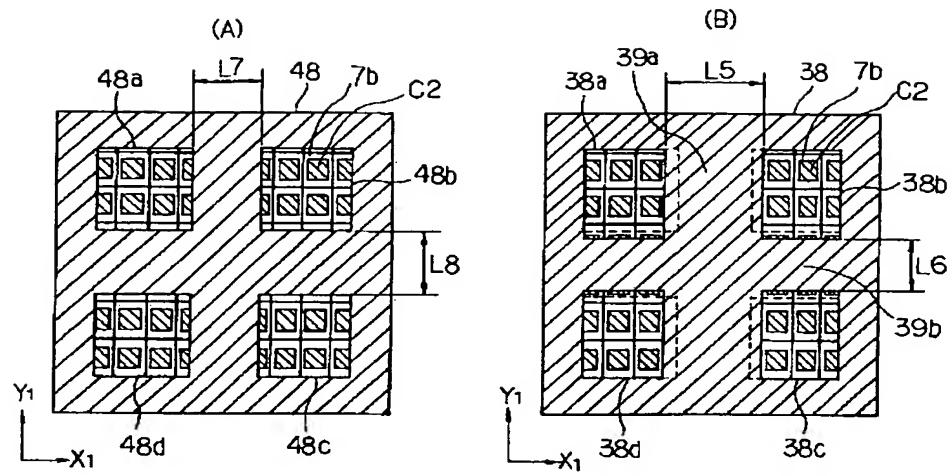
【図7】



【図8】



【図9】



【図10】

